

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-298795

(43)Date of publication of application : 10.11.1998

(51)Int.Cl.

C25D 5/08

C25D 17/00

C25D 17/12

(21)Application number : 09-110950

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 28.04.1997

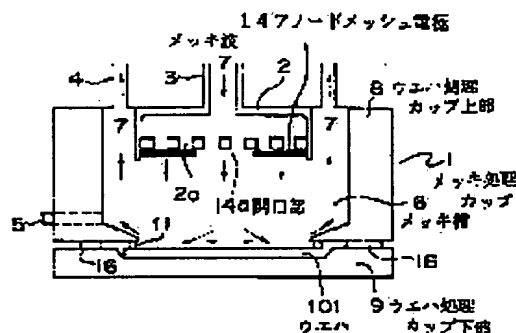
(72)Inventor : ^{KOSAKI} OZAKI KATSUYA
TAMAKI MASAHIRO

(54) MESH ELECTRODE, PLATING DEVICE USING THE MESH ELECTRODE, AND PLATING METHOD THEREFOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve the uniformity in plating film thickness without changing the feed rate of a plating soln. by forming an anode opposed to a wafer to be coated with a plating layer and forming a specified electric field distribution on the wafer surface from a mesh electrode having an opening at its central part.

SOLUTION: The distribution of electric fields is set so that the density of the electric fields generated between the electrode 14 and wafer 101 at the central part of the wafer 101 is lowered while keeping the flow rate of a plating soln. 7 constant by providing an opening 14a in the center of the mesh anode 14. Accordingly, the plating reaction at the central part of the wafer 101 is retarded, and the plating film is thinned at the central part of the wafer 101. Consequently, the nonuniformity in plating film thickness due to the flow rate distribution of the plating soln. 7 is reduced by such an electric field density distribution.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-298795

(43) 公開日 平成10年(1998)11月10日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

C 2 5 D 5/08
17/00
17/12

C 2 5 D 5/08
17/00
17/12

J
K

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平9-110950

(22) 出願日 平成9年(1997)4月28日

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 小崎 克也

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

(72) 発明者 玉置 政博

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

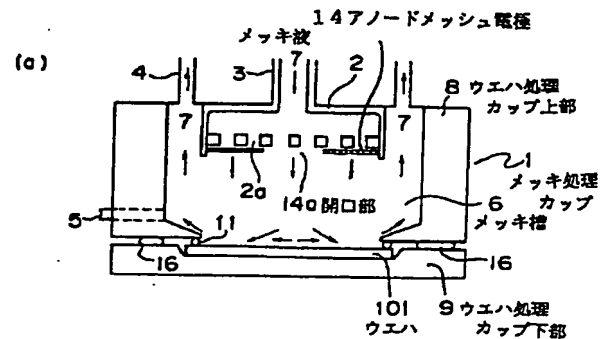
(74) 代理人 弁理士 青山 葆 (外1名)

(54) 【発明の名称】 メッシュ電極並びに該メッシュ電極を用いたメッキ処理装置およびメッキ処理方法

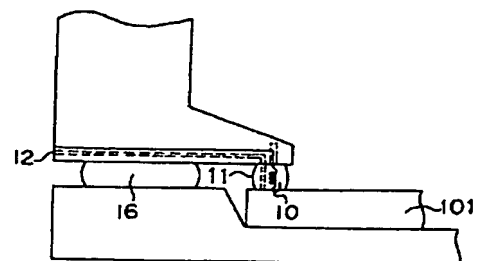
(57) 【要約】

【課題】 メッキ液7の供給流速を変化させずにメッキ膜厚の均一性を向上させるメッキ処理装置およびメッキ処理方法を提供する。

【解決手段】 メッキ処理装置のアノードメッシュ電極14の中央部分に開孔部14aを設け、アノードメッシュ電極14とウエハ101との間の電界密度分布を、ウエハ中央部分においてウエハ周辺部分より疎となるようにする。



(b)



【特許請求の範囲】

【請求項1】 メッキ層を形成すべきウエハに対面して設けられ、該ウエハ表面に所定の電界分布を形成するためのアノード電極であって、メッキ液が供給可能なメッシュ電極から構成され、該メッシュ電極の中央部分に開口部を有することを特徴とするメッシュ電極。

【請求項2】 ウエハをそのメッキ面が上向きになるように載置するメッキ槽と、

ウエハメッキ面にメッキ液を上方から向流させ、該ウエハメッキ面の中央部分に供給されるメッキ液が、上記ウエハメッキ面の中央部分から周辺部分へのメッキ液流を形成するメッキ液供給手段と、

上記ウエハと対面するように設けられ、上記ウエハをカソードとしてそのメッキ面に電界分布を形成するアノードメッシュ電極とを少なくとも備えたメッキ処理装置であって、

上記ウエハ中央部分における電界分布が上記ウエハ周辺部分における電界分布より疎になるように、上記アノードメッシュ電極の中央部分に開口部を有することを特徴とするメッキ処理装置。

【請求項3】 上記アノードメッシュ電極が上記ウエハの直径とはほぼ等しい直径を有する円形電極であり、上記アノードメッシュ電極の開口部が上記ウエハの直径の40～80%の直径を有する円形開口部であることを特徴とする請求項1または2に記載のメッキ処理装置。

【請求項4】 ウエハメッキ面を上向きに載置し、該ウエハメッキ面に向流させたメッキ液を該ウエハメッキ面の中央部分から周辺部分へ流れるように供給する工程と、

上記ウエハをカソードとし、該ウエハと対面するように設けられたアノードメッシュ電極との間に電界を形成する工程と、

上記アノードメッシュ電極が中央部分に開口部を有し、上記メッキ液の流れに沿って発生するメッキ膜厚の不均一を緩和するような電界分布を形成する工程とを備えることを特徴とするメッキ処理方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体基板に均一なメッキ層を形成するメッキ処理装置およびメッキ処理方法に関する。

【0002】

【従来の技術】図6(a)に、ウエハ101の表面を上向きに配置してメッキ処理を行うフェイスアップ方式のメッキ処理装置の従来例を、図6(b)、ウエハ101のシール部分の拡大図を夫々示す。図中、1はメッキ処理カップ、2はメッキ液噴出部、2aはすのこ穴、3はメッキ液供給管、4はメッキ液排出管、5はドレイン配管、6はメッキ槽、7はメッキ液、8はウエハ処理カップ上部、9はウエハ処理カップ底部、10はカソードコ

ンタクト部、11はシール材、12は窒素ガス吹き出しレリーズ、14はアノードメッシュ電極、16は補助シール材、101はウエハである。上記メッキ処理装置では、メッキ液供給管3から供給されたメッキ液7は、メッキ液排出管4から排出され、メッキ処理中を通じて循環される。また、アノードメッシュ電極14、ウエハ101間には、カソードコンタクト部10を介して所定の電圧が印加され、ウエハ101表面にメッキ層が形成される。かかるフェイスアップ方式のメッキ処理装置は、ウエハ表面が上向きに配置されるため、ウエハ表面を下向きに配置するフェイスダウン方式に比べてウエハ表面への気泡の付着が防止でき、品質の良いメッキ膜の形成が可能となる。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】図7に、上記メッキ装置を用いて電流密度： 5 mA/cm^2 、メッキ時間：12分の条件下で4インチウエハのAuメッキ処理を行った場合のメッキ膜厚の面内分布であり、横軸はウエハエッジからの距離、縦軸はメッキ厚を示す。図7から明らかのように、メッキ膜厚は、ウエハ中央部で最も厚くなり、次に周囲が厚くなるW型の分布を示す。そこで、かかる膜厚分布の原因を調査したところ、メッキ処理におけるメッキ膜厚の均一性は、メッキ液の流速分布によるメッキイオン輸送量の分布、およびウエハ面内における電界分布に大きく影響されることがわかった。即ち、上記メッキ処理装置では、メッキ液の流速は、メッキ液供給管3直下に位置するウエハ中央部で最も速くなり、このためメッキイオン輸送量も最大になるため、メッキ膜厚が最も厚く形成される一方、ウエハ周囲において電界分布の集中が生じるため、かかるウエハ周囲の膜厚が、ウエハ中央部に次いで厚く形成されることがわかった。これに対して、メッキ液供給管3から供給されるメッキ液7の流量を遅くして、ウエハ面内におけるメッキ液流量の分布を小さくする方法も可能であるが、かかる方法を取った場合、ウエハ面上で局部的にメッキ液7の滞留部分が生じ、メッキ品質の低下を招くこととなった。そこで、本発明は、メッキ液の供給流速を変化させずにメッキ膜厚の均一性を向上させるメッキ処理装置およびメッキ処理方法を提供することを目的とする。

【0004】

【課題を解決するための手段】そこで、発明者らは鋭意研究の結果、メッキ処理装置のアノードメッシュ電極中央に開孔部を設け、アノードメッシュ電極とウエハとの間の電界密度分布をウエハ中央部分において周辺部分より疎となるようにすることにより、メッキ液の流速分布に起因するメッキ膜厚の不均一性を緩和し、メッキ膜厚のウエハ面内均一性の向上を図ることができることを見出し、本発明を完成した。

【0005】即ち、本発明は、メッキ層を形成すべきウエハに対面して設けられ、該ウエハ表面に所定の電界分

10

20

30

40

50

布を形成するためのアノード電極であって、メッキ液が供給可能なメッシュ電極から構成され、該メッシュ電極の中央部分に開口部を有することを特徴とするメッキ電極である。このように、アノードメッシュ電極が中央部分に開口部を有することにより、かかるメッキ電極をアノード電極として用いてウエハとの間に電界を形成した場合に、ウエハ中央部分における電界密度分布をウエハ周辺部分における電界密度分布より疎となるように形成することが可能となる。これにより、ウエハ中央部分でのメッキ速度を周辺部分より遅くすることができ、従来問題となっていたメッキ液の流速分布に起因するメッキ膜厚の不均一性を緩和し、メッキ膜厚のウエハ面内均一性を向上させることが可能となる。尚、上記アノードメッシュ電極には、図2(a)に示すような細材等を編み込んで作製した電極に加えて、図2(b)に示すような板材等にパンチ穴を形成して作製した電極も含まれる。

【0006】また、本発明は、ウエハをそのメッキ面が上向きになるように載置するメッキ槽と、ウエハメッキ面にメッキ液を上方から向流させ、該ウエハメッキ面の中央部分に供給されるメッキ液が、上記ウエハメッキ面の中央部分から周辺部分へのメッキ液流を形成するメッキ液供給手段と、上記ウエハと対面するように設けられ、上記ウエハをカソードとしてそのメッキ面に電界分布を形成するアノードメッシュ電極とを少なくとも備えたメッキ処理装置であって、上記ウエハ中央部分における電界分布が上記ウエハ周辺部分における電界分布より疎になるように、上記アノードメッシュ電極の中央部分に開口部を有することを特徴とするメッキ処理装置でもある。このように、アノードメッシュ電極が中央部分において開口部を有するようなメッキ処理装置を用いることにより、ウエハの中央部分における電界密度分布をウエハの周辺部分における電界密度分布より疎になるように形成することができ、この結果、メッキ液の流速分布に起因するメッキ膜厚の不均一性を緩和し、即ち、メッキ液の流速分布に起因するウエハ中央部分におけるメッキ膜厚の増大をかかえる部分における電界密度を疎にすることにより抑制し、メッキ膜厚のウエハ面内均一性を向上させることが可能となる。

【0007】上記アノードメッシュ電極は上記ウエハの直径とほぼ等しい直径を有する円形電極であり、上記アノードメッシュ電極の開口部は上記ウエハの直径の40～80%の直径を有する円形開口部であることが好ましい。アノードメッシュ電極として、ウエハの形状と同じ円形状を用いるとともに、上記ウエハの40～80%の直径を有する円形開口部を有することが、メッキ膜厚の均一性向上の点で最も好ましいからである。

【0008】また、本発明は、ウエハメッキ面を上向きに載置し、該ウエハメッキ面向流させたメッキ液を該ウエハメッキ面の中央部分から周辺部分へ流れるように

供給する工程と、上記ウエハをカソードとし、該ウエハと対面するように設けられたアノードメッシュ電極との間に電界を形成する工程と、上記アノードメッシュ電極が中央部分に開口部を有し、上記メッキ液の流れに沿って発生するメッキ膜厚の不均一を緩和するような電界分布を形成する工程とを備えることを特徴とするメッキ処理方法でもある。かかる方法を用いることにより、均一なメッキ膜の形成が可能となるからである。

【0009】

【発明の実施の形態】図1は、本発明の実施の形態にかかるメッキ処理装置であり、図6と同一符号は、同一または相当箇所を示す。本発明にかかるメッキ処理方法では、まず、ウエハ処理カップ上部8およびウエハ処理カップ底部9が分離され、ウエハ処理カップ底部9上に、例えばロボット搬送等により、被処理面が上向きになるようにウエハ101が設置され、ウエハ処理カップ底部9が上昇あるいはウエハ処理カップ上部8が下降することにより、ウエハ101とシール材11に内蔵されたカソードコンタクト部10(図6(b)参照)との接触、およびシール材11、16によるウエハ処理カップ上部8とウエハ処理カップ下部9との間のシールが得られる。

【0010】次に、メッキ液7がウエハ101中央上方に設けられたメッキ液供給管3から供給され、メッキ処理カップ1内に満たされるが、かかるメッキ液7は、すのこ穴2a、アノードメッシュ電極14を通してウエハ101上に流れ、ウエハ101表面を中央部から周囲に向かって流れ、最後に周囲上方の排出管4からカップ1外へ排出されるように循環する。メッキ液7には、一般には、Auメッキ液である亜硫酸Auナトリウムを主成分とするメッキ液やシアン化Auカリウムを主成分とするメッキ液が用いられ、メッキ液の温度は、通常50～70℃程度に設定されるこのようにメッキ液7を循環させた場合、ウエハ面内におけるメッキ液7の流速は、ウエハ101中央部において最大となり、周囲に向かうほど小さくなる同心円状の分布を示す。このため、輸送されたメッキ元素のイオンは、ウエハ7中央部に集中し、図6に示す従来のめっき処理装置を用いた場合には、ウエハ中央部のメッキ膜の膜厚が厚くなる。これに対し、本発明では、アノードメッシュ電極14の中央に、例えば、図2(a)に示すような円形の開口部14aを設けることにより、メッキ液の流速はそのままの状態を保ちながら、ウエハ101中央部におけるアノードメッシュ電極14とウエハ101との間に発生する電界の電界密度が疎になるように(即ち、電気力線が疎になるように)電界分布を設定する。図2(a)は、Ti/Ptメッキ板の編み込みメッシュ電極の中央部に開口部14aを設けたアノードメッシュ電極であり、代わりに、図2(b)に示すように、Pt-Ta/Ptクラッド材に複数のパンチ穴を設けた電極の中央部に開口部14'aを

設けたアノードメッシュ電極を用いることも可能である。アノードメッシュ電極の直径は、メッキするウエハの直径とほぼ同程度であることが好ましく、本実施の形態では、4インチウエハのメッキ処理を前提とするため、アノードメッシュ電極の直径も120mm程度とすることが好ましい。

【0011】ウエハ上における電界分布を制御する方法としては、例えば、実開平6-37354号公報に示すように、アノードメッシュ電極14とウエハ101との間に邪魔板を設ける方法もあるが、かかる方法ではメッキ液の流れる方向が変わり、メッキ膜の膜厚分布の均一性を逆に低下させてしまうこととなる。このように、アノードメッシュ電極14とウエハ101との間に発生する電界の電界密度がウエハ中央部分で疎となるようにしてウエハ101中央部におけるメッキ反応を抑制することにより、ウエハ101中央部におけるメッキ膜の成長膜厚が薄くなるような作用を与えることが可能となる。この結果、かかる電界密度分布は、メッキ液の流速分布に起因するメッキ膜厚の不均一性を緩和し、即ち、メッキ液の流速分布に起因するウエハ中央部におけるメッキ膜厚の増大を、かかる部分における電界密度を疎にすることにより抑制し、メッキ膜厚のウエハ面内均一性の向上を図ることが可能となる。

【0012】図3に、直径123mmのアノードメッシュ電極14の開口部14aを変えた場合の、開口部の直径(アノードの穴径)と膜厚均一性(3 σ /m:m=面内21点の膜厚平均値)の実測値との関係を示す。図3より、アノードの穴径が0の場合、即ち、開口部を設けない従来の構成の場合は、膜厚均一性は60%であったものが、開口部を設けることにより10%以下に改善でき、特に、開口部径が4.5mmの場合、膜厚均一性は5%程度と極めて良好な値となることがわかる。図3の結果等より、アノードメッシュ電極の開口部の直径は、

(ウエハの直径とほぼ等しい値に形成される)アノードメッシュ電極の直径の約40~80%の範囲内で、電極中央部分に形成することが好ましいと考えられる。

【0013】図4は、アノードの開口部の直径/アノードの直径が、75%となるように作製したアノードメッシュ電極14を用いた場合の、4インチウエハ上のメッキ膜厚の膜厚分布であり、横軸はウエハエッジからの距離、縦軸はメッキ厚を示す。メッキ条件は、図7に示した場合と同様であり、電流密度:5mA/cm²、メッキ時間:12分である。図4に示す本発明にかかるアノードメッシュ電極14を用いた場合のメッキ厚の膜厚分布を、図7に示す従来のアノードメッシュ電極を用いた場合のメッキ厚の膜厚分布と比較すると明らかなように、図7の場合には6 μ m程度あった中央部の膜厚が、図4では平均メッキ膜厚に近い4.5 μ m程度にまで薄くなるとともに、図7で見られるウエハエッジから15 μ m程度内部に入った部分における膜厚の低下が見られ

なくなっている。これは、本発明にかかるアノードメッシュ電極を用いた場合には、ウエハ中央部近傍における電界分布の電界密度が小さくなる(電気力線が疎となる)ため、従来に比べて中央部におけるメッキ反応が抑制されるためと考えられる。また、中央部でのメッキ反応が抑制された結果、従来は中央部でのメッキ反応で消費されていたメッキ金属イオンが、メッキ液の液流に乗ってウエハ周辺方向に供給されるため、図7で見られるようなウエハエッジから15 μ m程度内部に入った部分における膜厚の低下が、かかるメッキ金属イオンの供給により低減されると考えられる。

【0014】次に、図5に、上記アノードメッシュ電極を備えたメッキ処理装置を用いた半導体装置の製造方法を示す。まず、図5(a)に示すように、例えばSiやGaAs等の半導体ウエハ101上に、メッキ給電層(例えばTi/Au、TiW/Au、Cr/Au等の積層膜)102を蒸着あるいはスパッタリングデポジションによって形成する。次に、図5(b)に示すように、メッキ給電層102を形成した半導体ウエハ101上に、フォトレジストパターン103を転写、形成する。この時、ウエハ101周囲には、少なくとも一箇所以、上、フォトレジストパターン103を形成しないコンタクトパターン103aを開口させておく。次に、図5(c)に示すように、本発明にかかるメッキ処理装置(図1(a)参照)のウエハ処理カップ底部9上にウエハ101を搭載し、リング等のシール材11を備えたウエハ処理カップ上部8をウエハ101上に、ウエハ周囲をシール材11でシールするように配置する。この時、シール材11に内蔵されたカソードコンタクト部10と半導体ウエハ101の周囲に設けられたコンタクトパターン103(a)とが電氣的に接続される(図1(b)参照)。続いて、メッキ液供給管3を通してメッキ液7をウエハ処理カップ1内に導入する。かかるメッキ液7は、メッキ処理中を通じて、ウエハ101中央上方のメッキ液供給管3から、すのこ穴2a、アノードメッシュ電極14を通してウエハ101に供給され、ウエハ101表面を中央部分から周囲部分に向かって流れ、周囲上方の排出管4からウエハ処理カップ1外へ排出され、循環する。続いて、アノードメッシュ電極14とカソード即ちウエハ101上の給電層102との間に、例えば、定電流電解において数mA~数10mA/cm²の電流密度の電界が印加され、ウエハ101面上のフォトレジストパターン103をマスクに、ウエハ101面上にメッキを形成する。上記メッキ処理装置(図1(a))では、アノードメッシュ電極14として、電極中央部に図2(a)(b)に示すような穴が設けられた電極が用いられるため、ウエハ101中央部に供給される電界分布の電界密度がウエハ101の周辺部に比較して小さくなり、これにより、従来のメッキ処理装置(図6)を用いた場合に比較して、比較的均一な膜厚のメ

キ膜104を形成することができる。最後に、図5(d)に示すように、上記メッキ処理装置より、ウエハ101を取り出し、レジストパターン103を有機溶剤処理あるいは酸素アッシング等で除去した後、メッキ膜104の形成部分以外のメッキ給電層102をRIEやイオンミリングで除去することにより、所望のメッキパターンを得ることができる。上述の製造方法は、SiウエハやGaAsウエハ等上へのAuバンプ形成や配線Auメッキ、電極部へのメッキ形成に応用することができる。

【0015】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明にかかるメッキ処理装置では、メッキ処理装置のアノードメッシュ電極の中央部分に開孔部が設けられ、これにより、アノードメッシュ電極とウエハとの間の電界密度分布がウエハ中央部分において周辺部分より疎となり、メッキ液の流速分布に起因するメッキ膜厚の不均一性を緩和してメッキ膜厚のウエハ面内均一性の向上を図ることが可能となる。

【0016】また、本発明にかかるメッキ処理方法では、メッキ膜厚の均一性の高いウエハのメッキ処理が可能となり、かかるウエハを用いて作製した半導体装置の特性のばらつきを低減することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 (a) 本発明にかかるメッキ処理装置の断面図である。

(b) 本発明にかかるメッキ処理装置の部分断面図であ*

＊る。

【図2】 (a) (b) 本発明にかかるアノードメッシュ電極の平面図である。

【図3】 本発明にかかるメッキ処理装置を用いた場合の、アノードメッシュ電極の穴径とメッキ膜厚均一性との関係を示す。

【図4】 本発明にかかるメッキ処理装置を用いて形成したメッキ膜の膜厚分布である。

【図5】 本発明にかかるメッキ処理装置を用いた半導体装置の製造工程断面図である。

【図6】 (a) 従来のメッキ処理装置の断面図である。

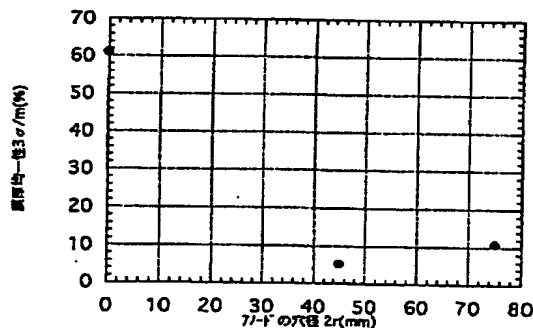
(b) 従来のメッキ処理装置の部分断面図である。

【図7】 従来のメッキ処理装置を用いて形成したメッキ膜の膜厚分布である。

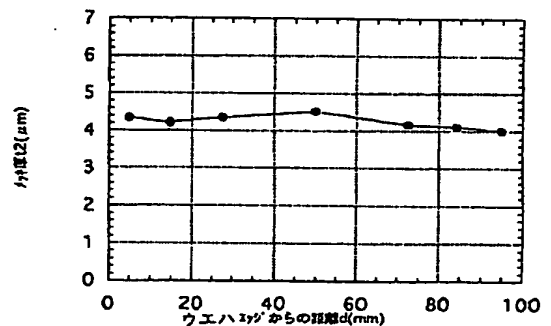
【符号の説明】

1 ウエハ処理カップ、2 液噴出部、2a すのこ穴、3 メッキ液供給管、4 メッキ液排出管、5 ドレイン配管、6 メッキ槽、7 メッキ液、8 ウエハ処理カップ上部、9 ウエハ処理カップ底部、10 カソードコンタクト部、11 シール材、12 窒素ガス吹き出しリリース、14、14' アノードメッシュ電極、14a、14'a アノードメッシュ電極の開孔部、15 すのこ、16 補助シール材、101 ウエハ、102 メッキ給電層、103 フォトリソパターン、103a コンタクトパターン、104 メッキ膜。

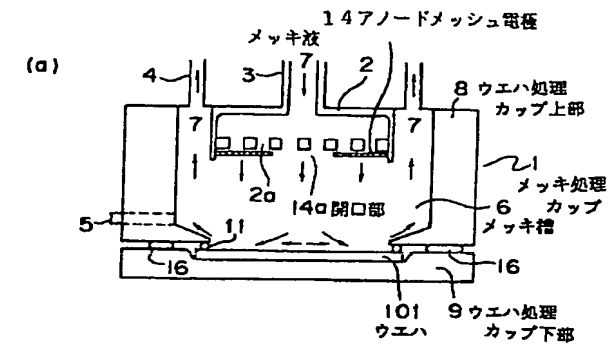
【図3】



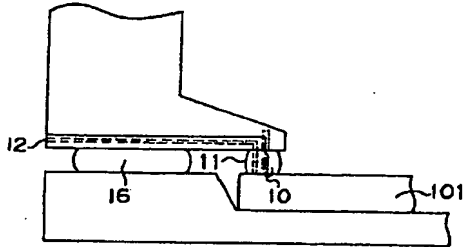
【図4】



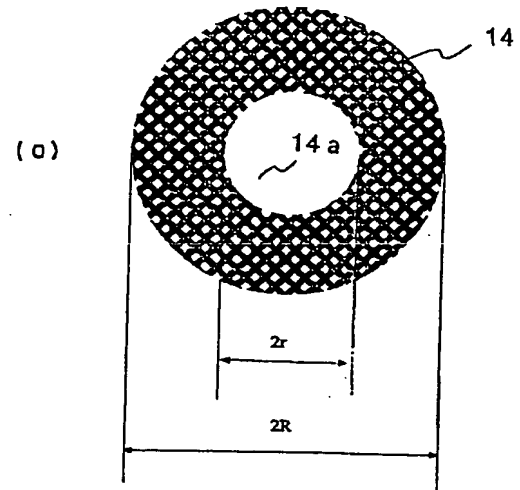
【図1】



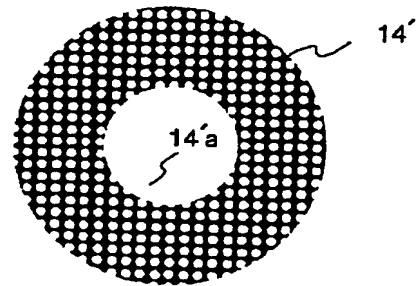
(b)



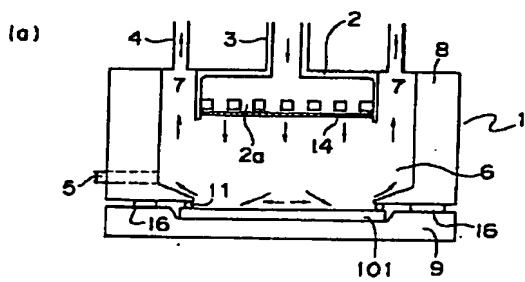
【図2】



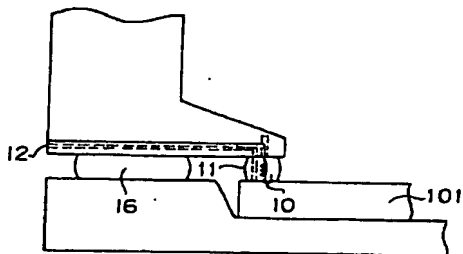
(b)



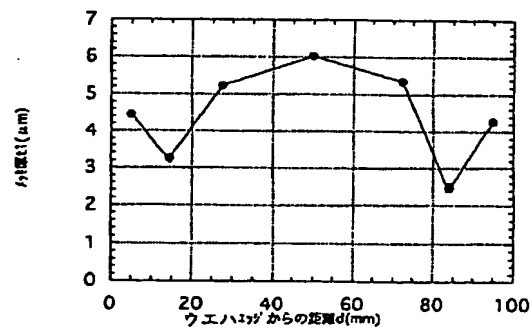
【図6】



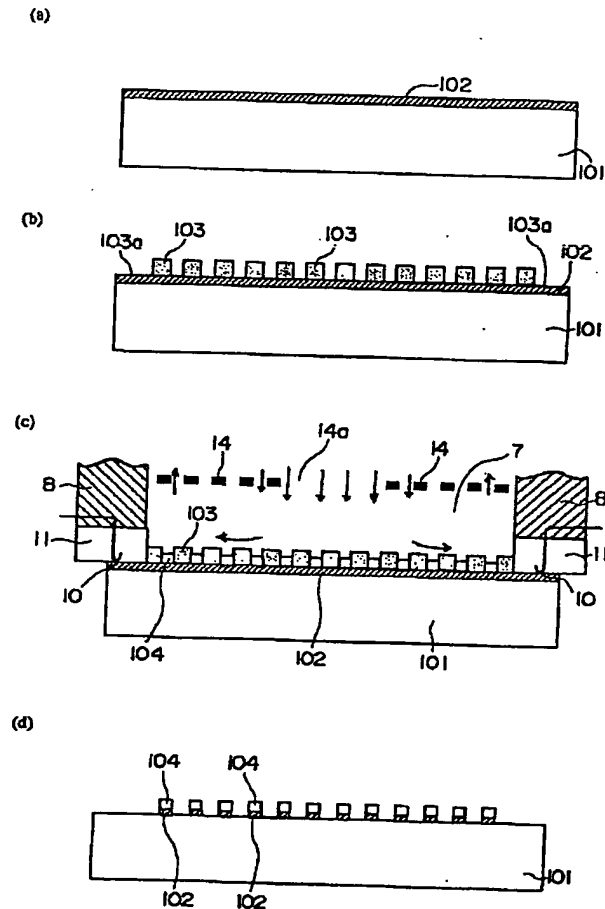
(b)



【図7】



【図5】



【手続補正書】

【提出日】平成9年7月18日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0013

【補正方法】変更

【補正内容】

【0013】図4は、アノードの開口部の直径／アノードの直径が、75%となるように作製したアノードメッシュ電極14を用いた場合の、4インチウエハ上のメッキ膜厚の膜厚分布であり、横軸はウエハエッジからの距離、縦軸はメッキ厚を示す。メッキ条件は、図7に示した場合と同様であり、電流密度： $5\text{ mA}/\text{cm}^2$ 、メッキ時間：12分である。図4に示す本発明にかかるアノードメッシュ電極14を用いた場合のメッキ厚の膜厚分布を、図7に示す従来のアノードメッシュ電極を用いた場合のメッキ厚の膜厚分布と比較すると明らかなよう

に、図7の場合には $6\text{ }\mu\text{m}$ 程度あった中央部の膜厚が、図4では平均メッキ膜厚に近い $4.5\text{ }\mu\text{m}$ 程度にまで薄くなるとともに、図7で見られるウエハエッジから15mm程度内部に入った部分における膜厚の低下が見られなくなっている。これは、本発明にかかるアノードメッシュ電極を用いた場合には、ウエハ中央部近傍における電界分布の電界密度が小さくなる（電気力線が疎となる）ため、従来に比べて中央部におけるメッキ反応が抑制されるためと考えられる。また、中央部でのメッキ反応が抑制された結果、従来は中央部でのメッキ反応で消費されていたメッキ金属イオンが、メッキ液の液流に乗ってウエハ周辺方向に供給されるため、図7で見られるようなウエハエッジから15mm程度内部に入った部分における膜厚の低下が、かかるメッキ金属イオンの供給により低減されると考えられる。